

На правах рукописи

ТИЛЛОБОВ ХАКИМДЖОН ИБРАГИМОВИЧ

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ
МАССАПЕРЕНОСА В СИСТЕМЕ ОТХОДОВ УРАНОВЫХ РУД –
ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА НА ПРИМЕРЕ ДИГМАЙСКОГО
ХВОСТОХРАНИЛИЩА ТАДЖИКИСТАНА**

02.00.04 – Физическая химия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертация на соискание ученой степени
кандидата химических наук



Душанбе-2010

Работа выполнена в научно-производственном центре «Технология» Государственного предприятия «Востокредмет» при Министерстве энергетики и промышленности Республики Таджикистан

Научные руководители: доктор химических наук, профессор
Юнусов Музафар Мамаджанович

кандидат технических наук
Беззубов Николай Иванович

Официальные оппоненты: доктор химических наук
Зинченко Зинаида Алексеевна

кандидат химических наук
Бобоев Худжаназар Эшимович

Ведущая организация: Таджикский технический университет им. ак. М. Осими, кафедра общей и неорганической химии

Защита состоится « 27 » октября 2010 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета ДМ 047.003.01 при Институте химии имени В.И.Никитина АН Республики Таджикистан по адресу: 734063, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2.

Е-mail: gulchera@list.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института химии имени В.И.Никитина АН Республики Таджикистан.

Автореферат разослан « 25 » сентября 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат химических наук



Касымова Г.Ф.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. На современном этапе развития общества решение проблемы обеспечения его возрастающих энергетических потребностей все в большей мере связывается с атомной энергией, получение которой обеспечивается функционированием предприятий ядерно-топливного цикла в состав которого входят разнопрофильные предприятия, работающие на конечную цель-высвобождение энергии ядра для нужд человечества. Вместе с тем, развитие атомной энергетики напрямую связано с увеличением отрицательного воздействия ее отдельных технологических стадий на природную среду.

Вопросам физико-химических воздействий на окружающую среду отходов переработки урановых руд и продуктивных растворов подземного и кучного выщелачивания урана, концентрирующихся в хвостохранилищах горнодобывающих и перерабатывающих предприятий, задачам управления отходами и хвостохранилищами оказывается недостаточное внимание.

Основная масса радиоактивных отходов непосредственно поступает в окружающую среду и по величинам активности в них радионуклидов, их радиационное воздействие на население и экосистему может создавать ситуации, требующие проведение мероприятий по локализации и снижению воздействия отрицательных факторов. Поэтому на всех объектах, связанных с физико-химическими процессами, влияющими на радиационную обстановку, мониторинг радиоактивных загрязнений объектов природной среды приобретает все большую актуальность.

Налаженный физико-химический и радиационный контроль позволит своевременно выявлять изменения в радиационной обстановке, разрабатывать и реализовать мероприятия по снижению доз облучения населения, предотвращать или локализовать загрязнение территорий, атмосферы и гидросферы.

Особенно остро эта проблема стоит в Северном Таджикистане. За более чем шестидесятилетний период промышленного освоения атомной энергии здесь накоплено значительное количество радиоактивных отходов. На Дигмайской возвышенности располагается хвостохранилище радиоактивных отходов, до настоящего времени относящееся к категории «действующее» и представляющее реальную опасность, выражающуюся в загрязнении воздушного, водного бассейнов, почвенно-растительного покрова в районе его влияния. Радиационная обстановка в районе хвостохранилища определяется не только уровнем радиоактивного загрязнения, но также процессами, контролирующими миграцию радионуклидов таких как ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K . Здесь крайне необходим

радиационный мониторинг загрязненных территорий, охватывающий все сферы природной среды и служащий основой дифференцированной радиоэкологической оценки и планирования реабилитационных мероприятий.

В предлагаемой работе рассматриваются физико-химические проблемы, связанные с постановкой, реализацией и проведением радиоэкологического мониторинга, проводится анализ, и представляются некоторые результаты мониторинга радиоактивных загрязнений в районе Дигмайского хвостохранилища.

Целью настоящей работы является разработка и реализация комплекса физико-химических методов, позволяющих сформировать всесторонний радиоэкологический мониторинг на хвостохранилищах отходов гидromеталлургической переработки урановых руд и на этой основе оперативно решать вопросы управления отходами, контролировать состояние и оценивать экологические риски, связанные с хвостохранилищами на различных стадиях их эксплуатации.

В соответствии с поставленной целью в процессе выполнения исследований были решены следующие **задачи**:

-изучены физико-химические особенности радиоактивных отходов Дигмайского хвостохранилища;

-изучены физико-химические процессы миграции, приводящие к загрязнению биосферы, гидросферы и атмосферы отходами хвостохранилища и содержащимися в них компонентами;

-разработан комплекс физико-химических и радиометрических методов контроля за состоянием объектов окружающей среды;

-исследованы на моделях процессы диффузии радона в нейтральных грунтах различного фракционного состава, по результатам которых возможен выбор их оптимального соотношения.

Научная новизна работы. На основании радиологических замеров и физико-химических анализов определены границы контура загрязнения поверхности и подземных вод. Исследована динамика загрязнения биосферы радоном в зависимости от времени года. Изучены процессы диффузии радона на моделях с нейтральным грунтом различного гранулометрического состава. Показано, что наиболее эффективно на замедление кинетических процессов влияют грунты, содержащие максимальное количество мелких фракций.

По результатам изучения процессов абиогенной и биогенной миграции элементов загрязнителей выявлено, что корневая система доминирующих растений сосредоточена в почвенном слое с основным содержанием радионуклидов. Определены коэффициенты биологического поглощения

растений и перехода радионуклидов в системе «хвостохранилище – почва – растение».

В результате биогеохимических исследований впервые получены данные по загрязнению почв и растительности в санитарно-защитной зоне хвостохранилища, выделена группа основных элементов загрязнителей и на основании предложенной комплексной функции загрязнения прослежено их поведение в системе за период с 1991 по 2009 гг.

Практическая значимость работы. Полученные в работе количественные данные характеризующие радиоэкологическую обстановку в районе Дигмайского хвостохранилища использованы для разработки текущих природоохранных мероприятий. Автором предложена и организована реперная сеть радиационного мониторинга, включающая 22 контрольные площадки на загрязненной радионуклидами территории и за пределами санитарно-защитной зоны хвостохранилища.

Получены предварительные исходные данные для проектирования работ по консервации хвостохранилища и реабилитации загрязненных территории.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

-результаты исследования физико-химических процессов миграции, приводящие к загрязнению биосферы, гидросферы и атмосферы отходами хвостохранилища и содержащимися в них компонентами, включающие анализ экспериментальных данных, оценку покомпонентного состава отходов, показатели среднего и максимального содержания радионуклидов в отходах, почвах и подземных водах;

-динамика изменения эксхалации ^{222}Rn с поверхности Дигмайского хвостохранилища при различных метеоусловиях;

-результаты исследований на моделях процесса диффузии ^{222}Rn в нейтральных грунтах различного гранулометрического состава, рекомендуемых для консервирующего покрытия хвостохранилища;

-оценка миграции долгоживущих радионуклидов в системе «хвостохранилище – почва – растение»;

-оценка динамики загрязнения подземных вод.

Публикации. по результатам исследований опубликовано 5 научных статей и 8 тезисов докладов

Апробация работы. Основные положения диссертации обсуждались на Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности» (г.Алматы, 2004г.); Международной конференции «Ферганская долина: основные проблемы техногенных наследий, урановое наследие в Таджикистане» (г.Кайраккум, 2005г.); Rehabilitation of uranium mines in northern Tajikistan (Norway, 2006г.); II Республиканская научно-практическая конференция «Использование

современных технологий в переработке горных минералов и металлургии » (г.Чкаловск, 2008г.); III Республиканской конференции «Единение нации и развитие науки и техники» (г.Чкаловск, 2009 г.) и VI - Нумановские чтения (г.Душанбе, 2009г.); Республиканской конференции «Актуальные проблемы преподавания естественных и технических наук в средних и высших школах». (г.Худжанд, 2010); на техническом совете ГП «Востокредмет».

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа представляет собой рукопись, изложенную на 124 страницах компьютерного набора, содержит: введение, обзор литературы, результаты исследований и их обсуждение, выводы, список цитируемой литературы, включающий 97 наименования библиографических ссылок, а также приложение. Работа иллюстрирована 25 рисунками и 26 таблицами.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложены предпосылки и основные проблемы исследования, обоснованы актуальность работы, научная новизна и практическая ценность, раскрыта структура диссертации.

В первой главе дан литературный обзор работ, характеризующих физико-химические основы производства урана и образования радиоактивных отходов на его различных стадиях. Рассмотрены пути миграции радионуклидов и сопутствующие им физико-химические процессы, происходящие в системе «хвостохранилище - окружающая среда».

Во второй главе обоснован комплекс методов исследований, дающий представление о физико-химических процессах, происходящих в системе «хвостохранилище – окружающая среда» и связанных с ними путями миграции. Определены методические и технические основы полевых, аналитических и экспериментальных исследований на выбранном объекте. Результаты исследования динамики загрязнения территории в районе Дигмайского хвостохранилища. Охарактеризованы физико-химические свойства радиоактивных отходов Дигмайского хвостохранилища и приведены результаты изучения на моделях диффузии ^{222}Rn в нейтральном грунте.

В третьей главе изложены и обсуждены результаты комплексного радиоэкологического мониторинга Дигмайского хвостохранилища, включающего оценку загрязнения почвенно-растительного покрова прилегающей территории, атмосферы и подземных вод.

ГЛАВА 1. ФОРМИРОВАНИЕ ОРЕОЛА РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКА

С целью выработки критериев для определения ореола радиоактивного загрязнения были выполнены фоновые маршруты, охватывающие все виды горных пород, выходящих на поверхность в пределах Дигмайской возвышенности.

В расчетах использовалась выборка, состоящая из 800 значений мощности экспозиционной дозы (МЭД). Результаты выполненных вычислений, показали, что среднее фоновое значение МЭД составляет 11,5 мкР/ч (0,11 мкЗв/час), а пределы фоновых колебаний с вероятностью 95% не превышают $\pm 2,4$ мкР/ч (0,024 мкЗв/час). Таким образом, максимальное фоновое значение МЭД для Дигмайской возвышенности составляет 14 мкР/ч (0,14 мкЗв/час).

О том, что загрязнение обусловлено выносом радиоактивного материала с поверхности хвостохранилища, свидетельствует характер графиков распределения значений МЭД и активности естественных радионуклидов (ЕРН) по глубине шурфов, пройденных в СЗЗ (рис.1).

Максимальная активность почво-грунтов в интервале 0-0,1м обусловлена осаждением пылевых частиц на земную поверхность, их разрушением в ходе физико-химических процессов, возникающих в результате взаимодействия с осадками и кислородом воздуха и последующей миграцией ЕРН (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs) в почвенном слое.

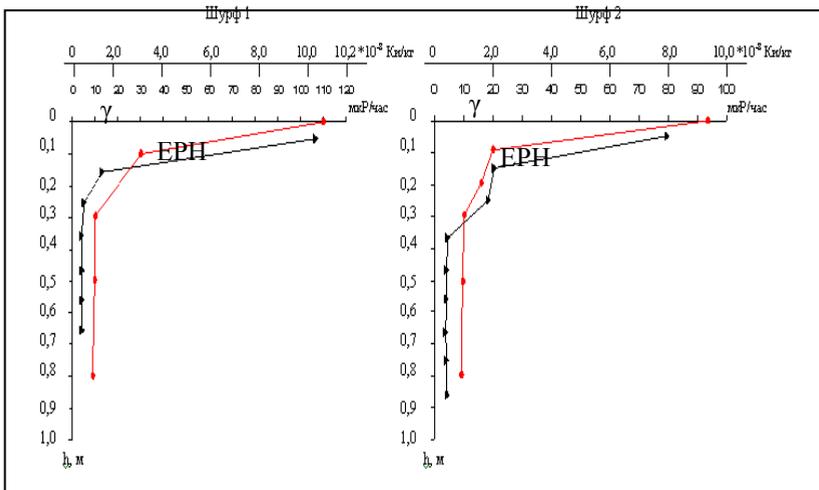


Рис.1. Распределение значений суммарной эффективной активности $A_{эфф}$ и МЭД по глубине шурфов.

Данные об изотопном составе отходов представлены в табл.1.

Таблица 1

Содержание изотопов ^{230}Th , ^{210}Po , ^{210}Pb в отходах хвостохранилища

Проба, №	^{230}Th 10^3 , Бк/кг	^{210}Po 10^3 , Бк/кг	^{210}Pb 10^3 , Бк/кг
1	2	3	4
1	8,63	62,35	44,0
2	6,30	54,30	44,8
3	3,71	32,65	23,25
4	51,80	41,45	39,90
5	1,4	60,55	50,00
6	7,53	52,25	43,0
7	6,10	53,20	43,9
8	4,76	30,61	22,29
9	52,50	42,40	37,80
10	2,0	61,42	49,10
Фоновые	0,8-1,3	8-14	8-10

Результаты выполненных исследований показывают, что радиоактивное загрязнение местности по гамма-излучению на 95-98% обусловлено ^{226}Ra .

Изотопы ^{230}Th , ^{210}Pb , ^{210}Po являются бета- и альфа- излучателями. Их вклад в радиоактивное загрязнение территории незначителен. На первом этапе работ были выполнены радиометрические и атмосферические исследования.

Измерения выполнялись радиометрами СРП-68-01, МКС-07«Поиск» и приборами РРА-01М-03 и РГА-09М. За период исследований выявлено, что загрязнение распределения радиоактивности в почве незначительное и составляет на поверхности СЗЗ до 70мкР/ч, а концентрация радона от 100–210 Бк/м³ или выше, значение ЭРОА радона 11-31 Бк/м³. Они относительно незначительны, но превышают фоновые значения для данной местности (рис.2.).

Оценка эффективности выполненных работ была проведена с учетом принятого в 2006 г. нормативного документа (НРБ-06). Эксхалиция радона изменяется в зависимости от степени загрязненности и от мощности и структуры почвогрунтов от 0,05 до 2,31 Бк/м²*с. На втором этапе выполнялись литогеохимическое и биогеохимическое опробования.

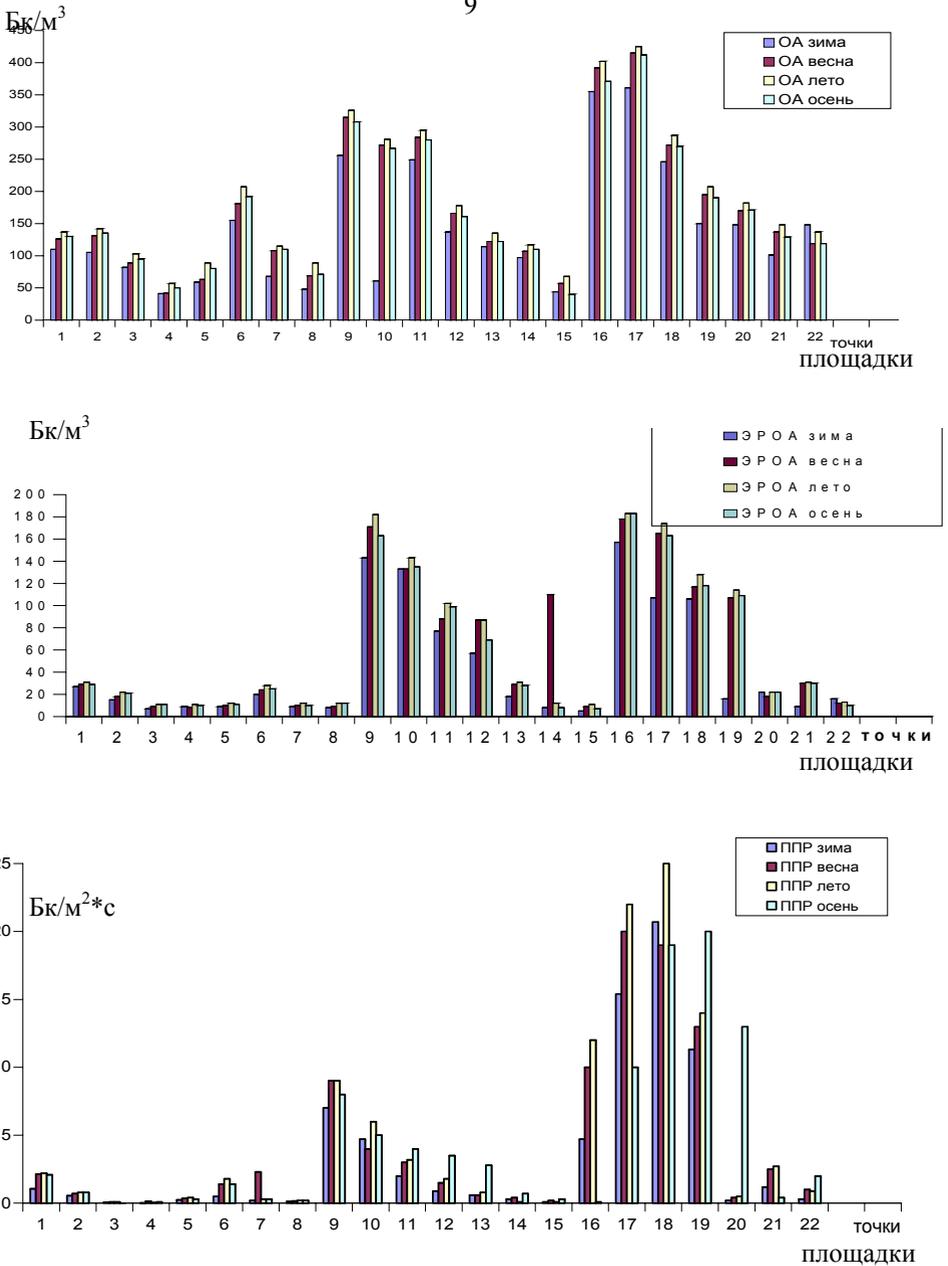


Рис.2. Динамики изменения ОА, ЭРОА и ППР в зависимости от времени года.

Примечание: ОА -объемная активность, ЭРОА эквивалентная равновесная объемная активность, ППР- плотность потока радона.

Работы выполнялись по профилям. При выборе их направления учитывалась роза ветров.

Объем гидрохимического опробования определялся количеством технически исправных скважин и родников, входящих в режимную сеть наблюдений.

Определение ЕРН производилось на гамма-спектрометре СЕГ-01 регистрации, в процессе измерений определялось содержание ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs .

ГЛАВА 2. ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ В РАЙОНЕ ДИГМАЙСКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА Физико-химические процессы массопереноса радона

Физико-химические процессы, отражающие динамику массопереноса радона и продуктов его распада от хвостохранилища в окружающую среду, схематично представлены на рис.3.

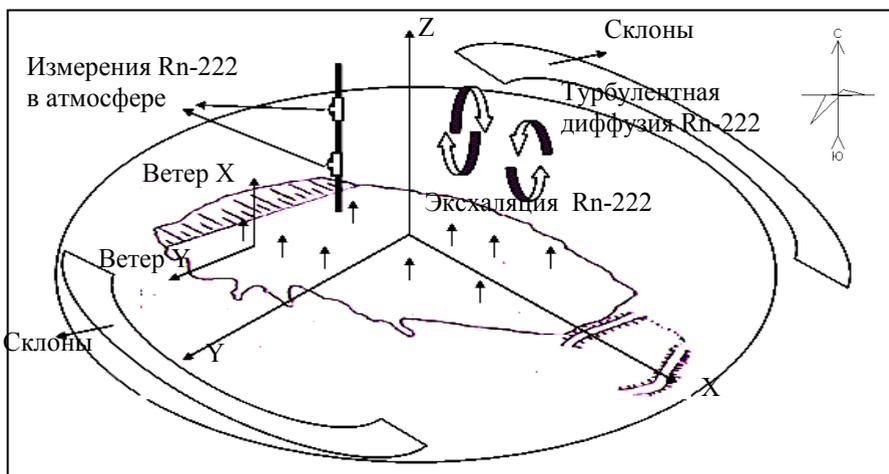


Рис.3. Динамика распространения радона

Динамика распространения радона определяется процессами радиационного распада и пространственно-временными вариациями метеорологических факторов. Произведена оценка годового выброса радона из хвостохранилища. Он оценивается в 6260 Ки/год.

Было выполнено математическое моделирование по оценке выброса радона с поверхности хвостохранилища с помощью программного комплекса «Эра». Расчеты были выполнены с использованием нормативной модели ОНД -86. Результаты расчетов приведены в табл.2.

Таблица 2

Плотность потока и общая мощность выброса радона с поверхности Дигмайского хвостохранилища

№ источника	ППР, Бк/м ² *с	Площадь источника, 0,91, км ²	Мощность источника, кБк/с
1	7,6	0,24	1824
2	7,5	0,28	2100
3	6,8	0,20	1360
4	8,0	0,14	1120
5	6,8	0,05	340
общий выброс радона			6750

Средняя величина годового выброса по результатам моделирования и практических замеров составляет 6505 Ки/год. Относительное расхождение между данными замеров и моделирования оценивается в 17-18 %.

С целью определения влияния гранулометрического состава слоя нейтрального грунта, на процесс миграции радона, нами были проведены исследования на трех моделях, в каждой из которых эманурующий слой был перекрыт нейтральным грунтом, содержащим фракции различных классов крупности (табл.3).

Для оценки реального коэффициента диффузии радона в нейтральных суглинках выполнены исследования на баковой модели.

После установления диффузионного равновесия через трубки отбирались пробы воздуха, определялась концентрация радона, и вычислялся кажущийся коэффициент диффузии. Средний коэффициент диффузии для модели равен $14,709 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$. Это означает, что для не менее чем 100-кратного ослабления радоновыделения необходима засыпка отходов слоем нейтральных суглинков толщиной около 3,7–3,8м.

Как видно, из табл.3 наиболее уплотненным слоем является третий. Ему соответствует наименьшее значение D^* . Наименее уплотнен первый слой, характеризующийся максимальным коэффициентом диффузии. Поэтому, при консервации хвостохранилищ предлагаемым материалом, исключительно важную роль играет уплотнение при укладке.

Одновременно с экспериментальными исследованиями было выполнено математическое моделирование послойного распределения концентрации радона с использованием программного комплекса «Ecolego» (рис.4).

Постоянные значения концентрации радона наступает в первом и во втором слоях для моделей I и II на 20-й и 15 день, и в третьем слое, контактирующем с атмосферой, на 30-й и 25-й день соответственно.

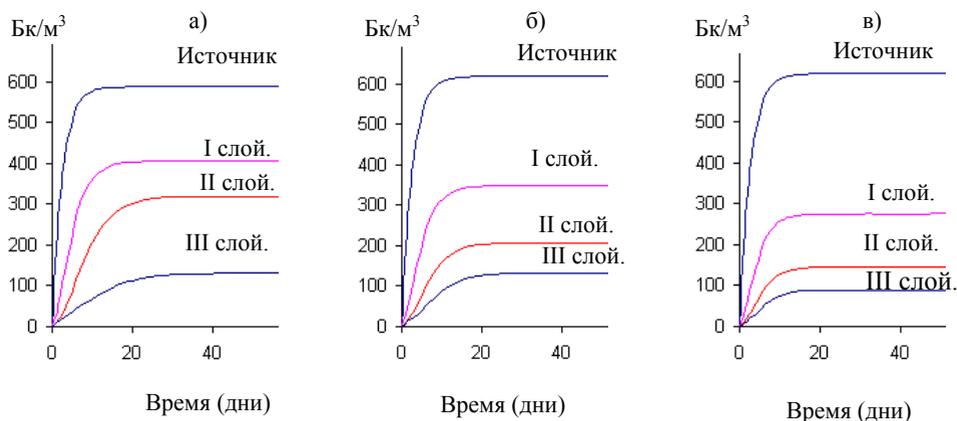


Рис.4. Кинетические кривые эксгаляция радона-222 в различных фракциях:
 а) модель 1(класс-50+25мм); б) модель 2 (класс-25+10мм);
 в) модель 3 (класс-10мм)

Приведенные данные свидетельствуют о том, что сроки установления равновесной концентрации радона в слоях нейтрального грунта зависят от интенсивности миграции радона, которая определяется его гранулометрическим составом. Модель демонстрирует также роль уплотнения суглинков при их укладке. Эти значения приведены в табл.3

Таблица 3

Расчетные значения коэффициента диффузии D^*

№ п/п	Слой	Интервал, см	$D^* 10^{-3}, \text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$
1	1	120 - 100	22,670
2	2	100 - 80	16,776
3	3	80 - 60	8,647
4	4	60 - 40	12,709
5	5	40 - 0,0	12,335
Средний D^*			14,627

Наиболее интенсивно радон мигрирует в грунтах, представленных крупными фракциями (Модель I). С уменьшением класса крупности фракций она снижается (Модель II). Наиболее низкая интенсивность миграции радона отмечается в грунтах, представленных мелкими фракциями (Модель III).

Время установления равновесных концентраций в слоях модели III отличается от результатов полученных для первых двух моделей.

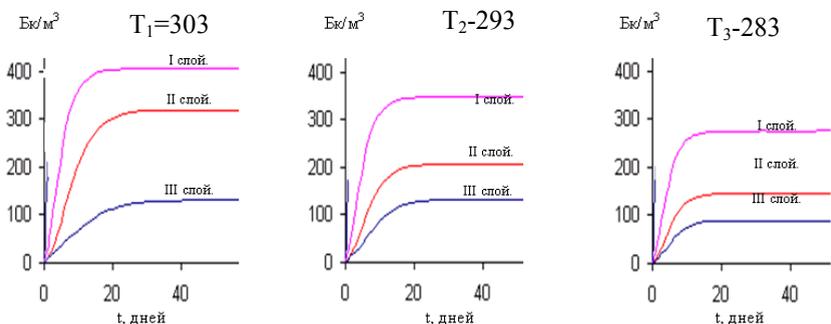


Рис.5. Кинетические кривые эксхалляции радона для модели 1. (класс – 50 + 25мм)

Для первого, второго и третьего слоев оно составляет 12, 15 и 20 дней соответственно.

Нами также исследована кинетика эксхалляции радона-222 на фракциях (класса -50+25мм) при разных температурах (283,293,303К). На рис.5 приведены кинетические кривые измерения объемной активности ($\text{Бк}/\text{м}^3$) в зависимости от времени (t), поступающего в атмосферный воздух (эксхалляция радона-222) и от температуры. Результаты исследований обобщены в табл.4

Рассчитанные значения плотности потока радона изменяются от 1,42 до 4,70 $\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$. в зависимости от температуры и слоя покрытия.

Характер кривых показывает, что эксхалляция радона-222 проходила по закону, приближающемуся к параболическому с повышением температуры воздуха увеличивается эксхалляция радона-222.

Таблица 4

Влияние слоёв покрытия на кинетические и энергетические параметры процесса эксхалляции радона -222

Слои модели	Температура эксхалляции радона, К	Истинная скорость эксхалляции радона, $\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$	Кажущаяся энергия активации, кДж/моль
Слой 1	283	3,08	1,22
	293	3,73	
	303	4,70	
Слой 2	283	2,14	2,03
	293	2,90	
	303	3,07	
Слой 3	283	1,42	3,20
	293	2,14	
	303	2,74	

При площади хвостохранилища равной 90 га и среднем значении плотности потока радона-222, равном $40 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$ годовое поступление радона в атмосферу может составлять $1,13 \cdot 10^{15}$ Бк/год (30,6 кКи/год). Этот результат показывает, что проблема эксхалляции радона может оказываться более острой, чем это оценивалось ранее.

Разнос пыли и продуктов распада радона с атмосферным воздухом, способствует расширению границы загрязнения поверхности почвы на прилегающих территориях. Истинная скорость эксхалляции радона-222 на первом слое, вычисленная по касательным, приведенным от начала координат к кривым и рассчитанная по формуле $K = \Delta O A \cdot \Delta t$ составляет 3,08 и 4,70 $\text{Бк} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ соответственно при температурах 283, 293 и 303 К.

Кажущаяся энергия активации эксхалляции радона-222, вычисленная по тангенсу угла наклона прямой зависимости $\lg K - 1/T$ (рис.6.) и по формуле $E = 2,3 \cdot R \cdot \text{tg} \alpha = 4,575 \cdot \text{tg} \alpha$, составляет 1,22 кДж/моль.

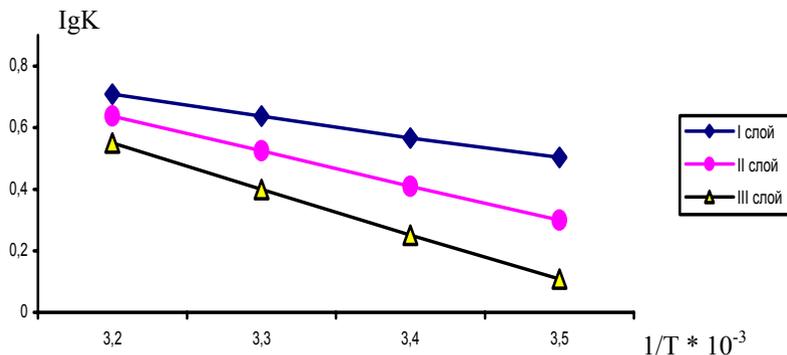


Рис.6. Зависимость $\lg K$ от $1/T$

ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ТЕРРИТОРИИ ДИГМАЙСКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА

Состояние загрязненности почв и растительного покрова в рассматриваемые периоды приведено на диаграммах (рис.7). Наибольший рост загрязнения отмечался в 2004 г. Это обусловлено высыханием прудка хвостохранилища, увеличением пылящей поверхности и объемов выносимого материала. Снижение темпов загрязнения в 2009 г связано с увеличением площади растительного покрова на поверхности хвостохранилища и образованием такыра на дне высохшего прудка.

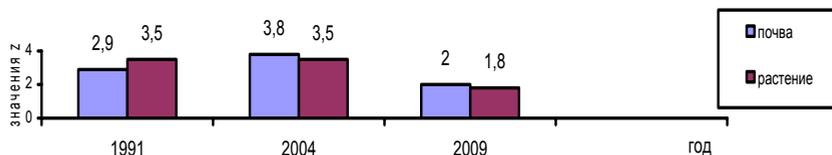


Рис. 7. Загрязненность почвенного и растительного покрова.

Химический состав жидкой фазы радиоактивных отходов и усредненные данные о составе незагрязненных подземных вод водоносного комплекса в районе хвостохранилища приведены в табл.5

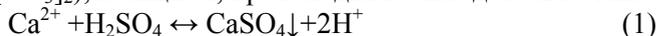
Таблица 5

Химический состав жидкой фазы отходов Дигмайского хвостохранилища

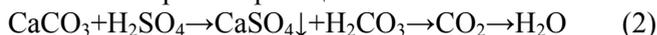
№ п/п	Компоненты	Дигмайское хв-ще, мг/л	Подземные воды, мг/л	ПДК, мг/л
1	Уран природный	0,35-0,5	$1,2 \cdot 10^{-4}$	1,8
2	Радий -226	10-12 Бк/л	0,01-0,008	0,5
3	Полоний - 210	2,0-2,6 Бк/л		0,12
4	Железо	800-850	20-50	300
5	Магний	500-600	45-60	
6	Марганец	60-70	0,01-0,1	0,1
7	Натрий +калий	230-320	20-100	
8	Хлориды (СГ)	100-120	200-250	350
9	Нитраты (NO_3^-)	600-800	90-100	45
10	Сульфаты	10200-11100	100-1100	500
11	Сухой остаток	9800-12000	2600-2800	1000

В процессе фильтрации жидкой фазы отходов из хвостохранилища отмечается зональность в распределении ореолов загрязнения от отдельных компонентов. В особенности это относится к тем из них, концентрация которых в растворах контролируется величиной рН. По основным макрокомпонентам зональность имеет вид $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{СГ} \rightarrow \text{NO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$, т.е. в целом загрязнение подземных вод контролируется ореолом сульфатного загрязнения.

Механизм формирования ореола сульфатного загрязнения заключается в следующем. Между инфильтратом пульпы, представленным в основном серной кислотой и содержащимся в породе в составе солей (CaCl_2 , CaCO_3 , $\text{Ca}[\text{NO}_3]_2$), кальцием, происходит взаимодействие типа:



Наиболее вероятна реакция типа:



Образующийся гипс при определенных условиях может диссоциировать в растворе $\text{CaSO}_4 \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$. Системы 1 и 2 находятся в динамическом равновесии, константа которого определяется соотношением $K = \frac{[\text{H}^+]^2 \times [\text{CaSO}_4]}{[\text{H}_2\text{SO}_4] \times [\text{Ca}^{2+}]}$

Все реакции между SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- с одной стороны и Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , Fe^{3+} , NH_4^+ с другой, являются ионными, гомогенными.

Анионный и катионный состав прудковых вод приведен в табл. 6.

Таблица 6

Содержание основных анионов и катионов в прудковых водах

Ионы	Показатели		Ионы	Показатели	
	г/л	мг-экв/л		г/л	Мг-экв/л
SO_4^{2-}	10,71	222,97	Mg_2^+	1,94	159,54
Cl^-	0,1	2,82	Ca_2^+	0,5	24,95
NO_3^-	0,4	6,45	K^+	0,1	2,56
			Na^+	0,1	4,35
			Fe^{3+}	0,4	21,49
			NH_4^+	0,35	19,40
рН прудковых вод			2,5		

В зоне, кальцийсодержащих пород наблюдается уменьшение концентрации $[\text{Ca}^{2+}]$, что влечет за собой и уменьшение $[\text{H}^+]$ и $[\text{CaSO}_4]$, т.е. равновесие смещается влево и идет растворение ранее выпавшего гипса $\text{CaSO}_4 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$.

Следовательно, в различные периоды времени идут два процесса. Первый обусловлен взаимодействием серной кислоты, содержащейся в инфильтрате, с цементом конгломератов. Второй процесс при поступлении новых порций инфильтратов с низкими значениями рН и при недостатке кальция в подземных водах.



Рис.8. Карта изом и расположения скважин гидрохимического опробования

Совместный анализ данных вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и гидрохимического опробования скважин позволил установить взаимосвязь между кажущимся удельным сопротивлением водоносного слоя (ρ_k) и минерализацией содержащейся в нем пластовой воды (рис. 8).

Построенная карта изоом по кровле минерализованного слоя имеет достаточно высокую контрастность – кажущееся удельное сопротивление изучаемого водоносного комплекса изменяется от 5 до 150 Омм.

Анализ полученной информации говорит о наличии в районе хвостохранилища двух источников загрязнения подземных вод, первый связан с хвостохранилищем, а второй с поливным земледелием.

ВЫВОДЫ

1. Изучены изотопный и химический состав радиоактивных отходов Дигмайского хвостохранилища. Показано, что радиоактивное загрязнение на 95-98% обусловлено ^{226}Ra и продуктами его распада ^{210}Po , ^{210}Pb . Загрязнение тяжелыми металлами связано с физико-химическими и радиологическими особенностями радиоактивных отходов и определяется содержанием и формой нахождения в них U, Mn, Ni, V, Cr, Mo, Pb, Zn.

2. Изучены физико-химические процессы миграции элементов, приводящие к загрязнению биосферы, гидросферы и атмосферы отходами хвостохранилища и содержащимися в них компонентами. По результатам радиологических замеров и физико-химических анализов определены масштабы и динамика загрязнения.

3. По данным экспериментальных исследований и математического моделирования оценен выброс радона с поверхности хвостохранилища и установлены причины, приводящие к его резкому возрастанию. Рассчитаны концентрации радона на высоте до 2 м над поверхностью хвостохранилища. Установлено, что максимальный вынос радона за пределы хвостохранилища не превышает до 1 км.

4. На моделях исследованы процессы диффузии радона в нейтральных грунтах различного гранулометрического состава. Показано, что наиболее эффективно замедление диффузионных процессов происходит в грунтах с максимальным содержанием мелких фракций.

5. Разработан комплекс физико-химических и радиометрических методов радиоэкологического мониторинга хвостохранилища и предложены пути его реализации.

**Основные результаты диссертации изложены
в следующих публикациях**

1. Разыков З.А., Юнусов М.М., Беззубов Н.И., Кавыршин С.Г., Тиллобоев Х.И. Геоботанический метод исследований радиоактивных загрязнений // III- Международная конференция «Актуальные проблемы урановой промышленности». Казахстан, г.Алма-Аты, 2004 -С.92-95

2. Тиллобоев Х.И., Разыков З.А., Юнусов М.М. Результаты биогеохимических исследований в районе Дигмайского хвостохранилища // Материалы Международной конференции. Ферганская долина: основные проблемы техногенных наследий, урановое наследие в Таджикистане. Кайраккум, 2006. -С.30-35

3. Юнусов М.М., Беззубов Н.И., Кавыршин С.Г., Тиллобоев Х.И. Физико-химическая характеристика отходов Дигмайского хвостохранилища // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2007.- Том 50 -№6.- С 527-532.

4. Yunusov M.M., Razikov Z.A., Bezzubov N.I., Tilloboev H.I. Rehabilitation of uranium mines in northern Tajikistan Nuclear Risk in Central Asia. // Springer Science+Business Media B.V.2008. p. 69-76.

5. Юнусов М.М., Беззубов Н.И., Тиллобоев Х.И. Влияние ферросплавов на окружающую природную среду // Доклады АН Республики Таджикистан 2008.- Том 51- №9.- С.696-700.

6. Тиллобоев Х.И., Юнусов М.М., Беззубов Н.И., Результаты исследований по моделированию процесса диффузии радона в нейтральном консервирующем слое // II - Республиканская конференция «Использование современных технологий в переработке горных минералов и металлургии». Чкаловск 2008. С.85-90.

7. Тиллобоев Х.И., Юнусов М.М., Разыков З.А. Биогеохимический мониторинг техногенных загрязнений // II - Республиканская конференция «Использование современных технологий в переработке горных минералов и металлургии». Чкаловск 2008. с.90-98.

8. Тиллобоев Х.И., Беззубов Н.И., Юнусов М.М. О биогеохимических исследованиях в районе Дигмайского хвостохранилища // Доклады АН Республики Таджикистан. 2009.- №3(136).- С. 44-48

9. Ковыршин С.Г., Разыков З.А., Юнусов М.М., Беззубов Н.И., Тиллобоев Х.И. Выбор оптимальной модели распределения концентрации радона на примере Дигмайского хвостохранилища // Горный журнал Российской Федерации № 12 Москва., 2009.- С. 59-62.

10. Тиллобоев Х.И., Файзуллаев Б.Г., Юнусов М.М., Беззубов Н.И. Миграция радона в нейтральных средах различного гранулометрического состава // III - Республиканская конференция «Переработка горных

минералов » Чкаловск. 2009.- С.122-126.

11. Тиллобоев Х.И., Файзуллаев Б.Г., Юнусов М.М, Беззубов Н.И. Результаты биогеохимических исследований в СЗЗ Дигмайского хвостохранилища // VI Нумановское чтение, Душанбе, 2009.- С. 24-25

12. Юнусов М.М., Ковыршин С.Г., Беззубов Н.И., Тиллобоев Х.И. Моделирование физико-химического процесса миграции радиоактивных веществ с территории хвостохранилищ уранового производства // Международная практическая конференция «Инженеринговая система 2009» Москва 6-9 апреля 2009.- С. 78-80

13. Ковыршин С.Г, Беззубов Н.И., Разыков З.А., Тиллобоев Х.И. Определение параметров защитного покрытия хвостохранилищ радиоактивных отходов // Материалы республиканской конференции «Актуальные проблемы преподавания естественных и технических наук в средних и высших школах». Худжанд, 2010.- С.128-133.

**Разрешено к печати 22.09.2010. Подписано в печать
24.09.2010. Бумага офсетная. Формат 60x84 1/16.
Гарнитура литературная. Печать офсетная.
Усл.печ.л 1,5. Тираж 100 экз. Заказ № 121**

**Отпечатано в типографии ООО «Эр-граф».
734036, г. Душанбе, ул. Р.Набиева 218.**

